

УДК 574.524

Ану МИЛИУС, Хенно СТАРАСТ, Айни ЛИНДПЕРЕ

**ИНДЕКС ТРОФИИ МАЛЫХ ОЗЕР ПО ФОСФАТНОМУ ФОСФОРУ**Ану MILIUS, Henno STARAST, Aini LINDPERE. VÄIKEJÄRVEDE TROOFSUSINDEKS  
FOSFAATSE FOSFORI JÄRGIАну MILIUS, Henno STARAST, Aini LINDPERE. INORGANIC PHOSPHORUS TROPHIC  
STATE INDEX OF SMALL LAKES

Эвтрофирование водоемов связано с обогащением их питательными веществами. Определяющая роль фосфора и азота в процессе антропогенного эвтрофирования в настоящее время для большинства водоемов установлена. Разрабатываемые методы прогнозирования и управления процессом эвтрофирования базируются, в первую очередь, на выяснении количественных закономерностей. Из литературы известны многие закономерности связей между фосфором и хлорофиллом *a*. Нами установлены зависимости (средние значения вегетационного периода) (Симм и др., 1983; Милиус, 1984а), а также связи между хлорофиллом и общим фосфором весной (Milius, 1984; Милиус, 1984б) и зимой (Милиус, 1986). В настоящем сообщении представлена количественная закономерность связи хлорофилла *a* с фосфатным фосфором по средним данным вегетационного периода.

**Материал и методика**

Исходным материалом служили данные 44 малых озер Юго-Восточной Эстонии, собранные в вегетационные периоды 1981—1983 гг. Исследовали разнотипные (мезо-, эв- и гипертрофные) фитопланктонные светловодные озера (цветность до 50° по бихроматкобальтовой шкале). Проанализировали 451 пробу воды поверхностного слоя.

Пробы воды для анализов фосфатных ионов и содержания хлорофилла *a* отбирали батометром из глубоководной части озера на глубине 1 м 5—9 раз с начала мая до сентября. Концентрацию фосфатных ионов определяли колориметрически общепринятым в гидрохимии методом восстановления фосфорномолибденовой кислоты хлористым оловом (Жизнь..., 1959). Концентрацию хлорофилла *a* (поправка на феопигменты) определяли спектрофотометрически (Talling, 1969) и рассчитывали по рекомендуемой А. ф. К. Маркером формуле (Marker, 1972). Арифметические средние данных обработаны методом регрессионного анализа.

**Результаты и обсуждение**

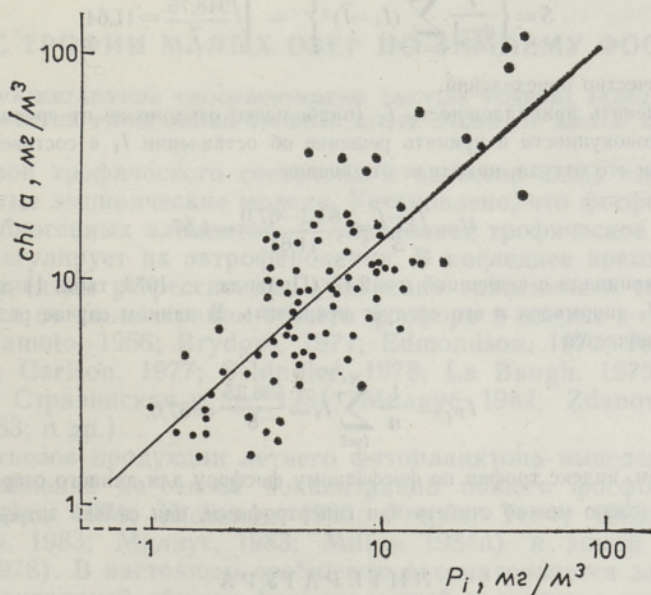
Фосфатный фосфор обнаружен почти во всех озерах, в двух из них (Кооркюла Валгеярв, Нохипалу Валгеярв) в середине лета содержа-



ние снизилось до аналитического нуля. Средняя концентрация фосфатных ионов в исследованных озерах была 0,5—66,8, концентрация хлорофилла *a* — 1,6—98,2 мг/м<sup>3</sup>. Статистический анализ средних данных проб показал тесную корреляцию между содержанием хлорофилла *a* и концентрацией фосфатных ионов (рисунок). Эта связь описывается уравнением

$$\log chl = 0,8495 \log P_i + 0,315; \quad (n=88, r=0,77, S=0,26), \quad (1)$$

где *chl* и *P<sub>i</sub>* — концентрации хлорофилла *a* и фосфатных ионов, мг/м<sup>3</sup>.



Корреляционная связь между концентрациями хлорофилла и фосфатного фосфора для озер Эстонии.

Отметим, что связь между средними значениями общего фосфора и хлорофилла оказалась более тесной ( $r=0,86$ ) (Милиус, 1984а), чем проанализированная выше зависимость. Исходя из установленной закономерности, где  $P_i = f(chl)$ , выведен индекс трофии по концентрации фосфатных ионов

$$I_{P_i} = 30,44 + 28,20 \log P_i; \quad (r=0,77; S=8,6). \quad (2)$$

Стандартное отклонение индекса по фосфатному фосфору, вычисленное нами на основании средних значений многолетних наблюдений, составило  $S=8,6$ , что оказалось наибольшим по сравнению с соответствующими значениями выведенных ранее индексов трофии (Милиус, 1983; Милиус, 1984а, б, в; Милиус, Кываск, 1984; Линдпере и др., 1985).

Средние значения индекса фосфатного фосфора для обследованных озер Эстонии находились в пределах 22—89 (индекс трофии до 36 баллов показывает олиготрофность, до 48 — мезотрофность и до 60 — эвтрофность озера). Такие условные переходные значения индекса фосфатного фосфора были выведены с учетом трофического состояния обследованных озер и по значениям индекса хлорофилла (Милиус, 1983) с использованием уравнения межиндексной связи

$$I_{P_i} = 20,76 + 0,5974 I_{chl}; \quad (r=0,77; S=6,7). \quad (3)$$



**Пример.** Вычисление индекса трофии по фосфатному фосфору. Данные о концентрации фосфатных ионов в течение вегетационного периода в одном озере, мг/м<sup>3</sup>

$$P_i: 88,5; 20,6; 8,7; 9,2; 7,4; 19,25; 75,3; 15,5.$$

По этим данным, используя уравнение (2), вычисляли исходные индексы

$$I_i: 85,3; 67,5; 56,9; 57,6; 54,95; 66,7; 83,4; 64,0.$$

Оценка аномальности значений исходного индекса. Для упорядоченной выборки исходных индексов подсчитывали выборочное среднее ( $\bar{I}=67,0$ ) и выборочное стандартное отклонение

$$S = \left\{ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2 \right\}^{1/2} = \sqrt{\frac{948,75}{7}} = 11,64,$$

где  $n$  — количество определений.

Чтобы оценить принадлежность  $I_1$  (наибольшее отклонение от среднего) к данной нормальной совокупности и принять решение об оставлении  $I_1$  в составе выборки, или об исключении его оттуда, находили отношение

$$U = \frac{I_1 - \bar{I}}{S} = \frac{85,3 - 67,0}{11,64} = 1,57.$$

Результат сравнивали с величиной  $\alpha = 2,13$  (Правила..., 1973, табл. 1) при  $n = 8$ . Если  $U \geq 2,13$ , то  $I_1$  аномален и его следует исключить. В данном случае результат нормален и не исключается

$$I_{P_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i = \frac{536,35}{8} = 67,0.$$

Таким образом, индекс трофии по фосфатному фосфору для данного озера  $I_{P_i} = 67 \pm 12$  означает, что озеро можно считать или гипертрофным, или сильно эвтрофным.

## ЛИТЕРАТУРА

- Жизнь пресных вод СССР. IV. Ч. 2. М.—Л., 1959.
- Линдпере А., Стараст Х., Милиус А., Симм Х. Растворенный в воде кислород как индекс трофии малых озер. — Изв. АН ЭССР, Биол., 1985, 34, № 3, 239—241.
- Милиус А. Определение трофического состояния малых фитопланктонных озер с применением индекса трофии по хлорофиллу *a* в фитопланктоне. — Изв. АН ЭССР, Биол., 1983, 32, № 4, 288—291.
- Милиус А. Определение трофического состояния малых озер с применением индекса трофии по фосфору. — Изв. АН ЭССР, Биол., 1984а, 33, № 2, 144—147.
- Милиус А. Оценка трофического состояния малых озер с применением индекса трофии по весеннему фосфору. — Изв. АН ЭССР, Биол., 1984б, 33, № 4, 297—298.
- Милиус А. Определение трофического состояния малых фитопланктонных озер при помощи индекса трофии прозрачности воды. — Изв. АН ЭССР, Биол., 1984в, 33, № 1, 73—76.
- Милиус А. Индекс трофии малых озер по зимнему фосфору. — Изв. АН ЭССР, Биол., 1986, 35, № 1, 75—78.
- Милиус А., Кываск В. Определение трофического состояния малых озер с применением индекса трофии по биомассе фитопланктона. — Изв. АН ЭССР, Биол., 1984, 33, № 2, 148—150.
- Правила оценки аномальности результатов наблюдений. ГОСТ 11.002-73. М., 1973.
- Симм Х. А., Милиус А. Ю., Линдпере А. В., Стараст Х. А. Основные показатели антропогенного эвтрофирования малых озер. — В сб.: Биологические и рыбохозяйственные исследования водоемов Прибалтики. Псков, 1983, т. 1, 80—81.
- Marker, A. F. H. The use of acetone and methanol in the estimation of chlorophyll in the presence of phaeophytin. — Freshwater Biol., 1972, 2, 361—385.
- Milius, A. Väikejärvede troofsusseisundi hindamine kevadise üldfosfori kontsentratsiooni järgi. — ENSV TA Toim. Biol., 1984, 33, № 3, 198—203.
- Talling, J. E. Sampling techniques and methods for estimating quantity of biomass: general outline of spectrophotometric methods. — In: IBP Handbook, 12. Oxford, 1969, 22—24.